

第5章 継続的運動が大動脈伸展性に及ぼす影響

5.1 緒言

第4章において、日常的に行う身体活動が、加齢に伴う大動脈伸展性を保持し、大動脈伸展性の大きいことが収縮期血圧上昇に対して抑制的に働く可能性が示唆された。この可能性を支持するいくつかの報告があり、例えば吉村（1976）は、マラソン大会参加者の大動脈脈波速度は一般健常人と比較して10歳ほど若い年齢に相当したと報告している。しかし、少数例を対象にした横断的検討では、運動していたから大動脈伸展性が高いのか、大動脈伸展性が高い者が高強度の運動を伴うマラソン大会等に参加していたのかは明確な結論が得られていない。大動脈伸展性に及ぼす運動の効果を明らかにするためには、縦断的検討が必要であるが、これまでの報告では、対象者の年齢が限られていること、運動トレーニングが高強度のものに限られていることなどの問題がある。横断的検討でも、身体活動水準の異なる多数の対象者を検討し、運動の強度ないし量と大動脈伸展性の間に量反応関係があることを示せば、ある程度の答えになるはずである。第4章でも量反応関係をみているものの、成人病検診受診者を対象にしたため、対象者の年齢と身体活動量の幅が狭い。本章では動脈硬化性疾患の危険因子を持たない多数の健常者を対象に、年齢と身体活動量の幅を広げた検討を行い、運動が大動脈伸展性に及ぼす効果をさらに明確にすることを目的とする。

一方、高血圧の運動療法では、 $50\% \dot{V}O_2\max$ や乳酸閾値（LT）などの比較的低強度の運動が用いられ、降圧効果の有益性が報告されている（Kiyonaga et al. 1985, Urata et al. 1985, Tanabe et al. 1989）。第4章からも明らかにされたように、大動脈伸展性は血圧の決定因子の一つである（池上 1994）ことから、通常健康運動におけるような中等度の運動でも、加齢に伴う大動脈伸展性の低下を抑制するような効果が得られれば意義深いと思われる。本章では、中等度の運動でも大動脈伸展性の保持ないし加齢に伴う低下の抑制効果を持つという仮説を検証することも目的にする。

本章では、運動強度ないし量と効果の関係を明確にするために、第4章の対象者のうち動脈硬化性疾患の危険因子を持たない健常者を選び、これに高強度の走行トレーニン

グを継続しているランナーを加えて検討を行った。また、特に健康運動としての中等度の運動の効果を明らかにするために、運動の内容についても検討を行った。

5.2 方法

A. 対象

対象者は56名のランナー群と83名の一般健常群であり、全て男性である。ランナー群は18名の陸上競技部に所属する大学生 (20.7 ± 2.2 歳: Mean \pm SD) と38名の市民ランナー (40.3 ± 16.4 歳: Mean \pm SD) からなり、学生選手権や市民マラソンなどに参加するため、強度の高い走行トレーニングを3~35年 (10.6 ± 5.9 年: Mean \pm SD) 継続している。一方、一般健常群は、社会人においては人間ドック (1泊2日) 受診者のうち、安静時血圧 $< 140/90$ mmHg, 総コレステロール < 220 mg/dl, 中性脂肪 < 170 mg/dl, 尿酸 < 8.0 mg/dl, 血糖値 < 110 mg/dl であり、明らかな疾患と高血圧, 高脂血症, 耐糖能異常, 喫煙習慣を持たない者を選んだ。また、大学生においては、胸部X線を含む健康診断で異常がみられず、喫煙習慣を持たない者である。一般健常群を、後述する身体活動量調査により、活動群 (身体活動指数 ≥ 1500 kcal/week: 25名, 19~61歳) と非活動群 (身体活動指数 < 1500 kcal/week: 58名, 19~67歳) の2群に分類した。

B. 身体活動状況の調査法

第3章 (3.3.2) で述べた手法を用いた。なお、農業や土木作業等の肉体労働に従事する人は、日常の身体活動が仕事に因るところが大きいので、この調査に基づいて対象から除外した。

C. 大動脈脈波速度の測定法

第3章 (3.3.1) で述べた手法を用いた。

D. 統計処理

ランナー群および一般健常群の活動群と非活動群における身体的特性とPAIを年代別に3群間で比較した (Table 14.)。年齢とPAIがAPWVIに及ぼす影響を明らかにするために、全対象者を用いて単相関分析を行った。また、APWVIの加齢変化に及ぼす運動の効果について検討するためにランナー群、活動群、非活動群で年代別APWVIを比較した。さらに、対象者が少ない年代があったため、上記3群間で年齢補正したAPWVIを比較した。年齢補正は、ランナー群および一般健常群において、それぞれ年齢とAPWVIとの一次回帰直線を求めて行った。各群間の比較は、APWVIを全対象者の平均年齢39.5歳に基準化した値で行った。

統計学的検定として、対応のない2群間の平均値の差にはt検定を、また、3群間での各測定項目における平均値の差の検定には一元配置の分散分析を行なった。いずれも統計学的有意水準を5%以下とした。

5.3 結果

ランナー群のPAIは、60歳代を除いて各年代とも非活動群に比べ有意に高値であった (Table 14.)。また、活動群のPAIは、ランナー群より低いものの非活動群よりは高く、ランナー群とは大学生と40歳代で、非活動群とは大学生から40歳代で統計学的に有意差が認められた。Fig. 7.に、ランナー群、活動群、非活動群におけるAPWVIを年代別に示す。APWVIは、3群とも加齢に伴い増大したが、運動強度の高い群ほど増加速度は緩やかであった。すなわち、ランナー群のAPWVIは各年代を通して活動群および非活動群より低値を示し、また、活動群のAPWVIは非活動群よりも低値を示した。

PAIを運動強度別に低強度のPAI (≤ 5.0 METs)、高強度のPAI (5.0 METs $<$)、および全PAI (低強度+高強度) として算出すると (Table 15.)、ランナー群のPAI (全: 3800 ± 2160 kcal/week, 高強度: 3460 ± 2170 kcal/week) は、活動群のPAI (全: 2550 ± 920 kcal/week, 高強度: 1960 ± 1290 kcal/week) および非活動群のPAI (全: 520 ± 430 kcal/week, 高強度: 260 ± 400 kcal/week) に比べ、それぞれ有

Table 14. Cross-sectional comparisons of physical characteristics in runner, active, and sedentary groups.

Age group (yr)	Physical Activity	N	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	PAI (kcal/week)
19-25	Runner	18	20.7 ± 2.2	170.4 ± 5.6	60.0 ± 5.1	20.7 ± 1.5	6080 ± 1890 d
	Active	10	20.9 ± 1.2	170.3 ± 5.8	59.9 ± 4.6	20.6 ± 1.0	3000 ± 840 c
	Sedentary	8	21.3 ± 1.6	170.5 ± 4.0	68.7 ± 7.6 b	23.7 ± 2.8 a	380 ± 250
30-39	Runner	8	33.4 ± 2.5	170.3 ± 6.5	62.6 ± 7.5	21.7 ± 2.5	2450 ± 1100
	Active	2	34.0 ± 2.8	172.7 ± 13.0	60.0 ± 2.3	20.2 ± 2.3	2210 ± 390
	Sedentary	15	35.2 ± 2.8	167.5 ± 5.3	63.0 ± 4.7	22.5 ± 1.4	370 ± 430 a
40-49	Runner	10	45.1 ± 2.4	168.4 ± 6.7	62.1 ± 7.0	21.8 ± 1.2	3220 ± 1170 d
	Active	10	43.8 ± 1.9	168.3 ± 7.4	64.4 ± 7.2	22.7 ± 2.1	2310 ± 1050 c
	Sedentary	25	43.4 ± 2.4	167.5 ± 5.1	64.3 ± 5.7	22.9 ± 1.9	600 ± 410
50-59	Runner	11	54.2 ± 2.9	167.1 ± 5.4	61.5 ± 6.8	22.0 ± 2.2	2330 ± 1150 e
	Active	1	52.0 ± 0.0	174.3 ± 0.0	72.9 ± 0.0	24.0 ± 0.0	2040 ± 0
	Sedentary	8	53.9 ± 3.3	169.6 ± 5.0	64.5 ± 10.2	22.3 ± 2.6	600 ± 500
60-67	Runner	9	63.6 ± 2.3	163.2 ± 7.9	57.6 ± 10.4	21.5 ± 2.8	2910 ± 1560
	Active	2	60.5 ± 0.7	158.4 ± 4.2	57.1 ± 1.7	22.8 ± 0.5	2040 ± 520
	Sedentary	2	64.5 ± 3.5	163.6 ± 2.8	51.8 ± 0.3	19.4 ± 0.6	800 ± 910

Values are mean ± SD, BMI: body mass index = weight (kg) / height (m)², PAI: physical activity index.

a: Sedentary group differs from other groups at P < 0.001;

b: Sedentary group differs from other groups at P < 0.01;

c: Active group differs from other groups at P < 0.0001;

d: Runner group differs from other groups at P < 0.0001;

e: Runner group differs from Sedentary group at P < 0.01.

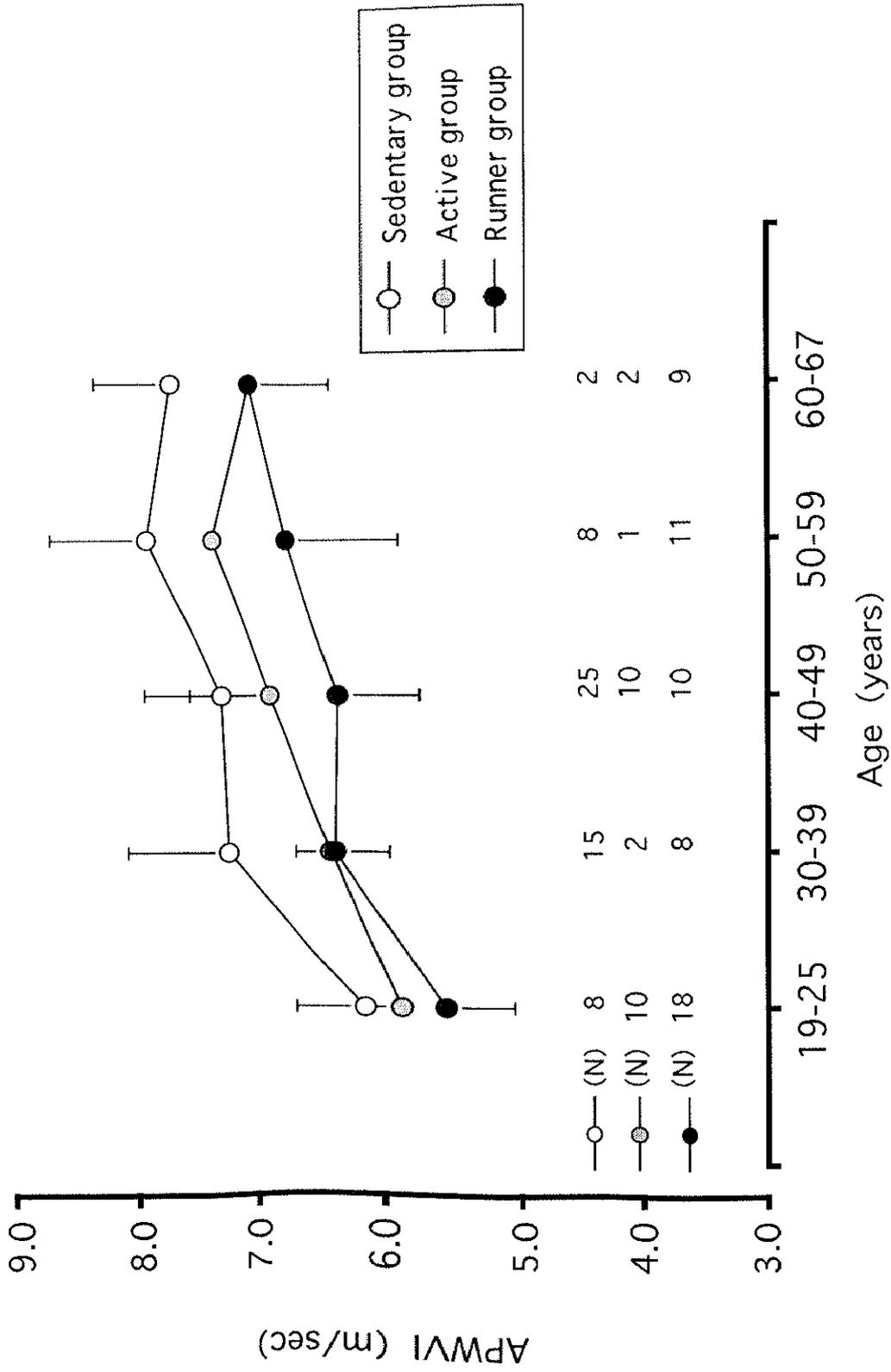


Fig. 7. APWVI and age in the runner, active, and sedentary groups.

Table 15. Anthropometric, blood pressure, and PAI values of the runner, active, and sedentary groups.

Group	Runner group	Active group	Sedentary group
Number	56	25	58
Age (years)	40.3 ± 16.4	35.5 ± 13.5	40.4 ± 10.7
Height (cm)	168.2 ± 6.6	168.9 ± 7.3	168.1 ± 5.0
Weight (kg)	60.6 ± 7.1	62.0 ± 6.3	64.2 ± 6.9 a
BMI (kg/m ²)	21.4 ± 2.0	21.7 ± 1.9	22.7 ± 2.1 a
SBP (mmHg)	119.5 ± 12.3	119.4 ± 11.1	115.4 ± 12.4
DBP (mmHg)	76.0 ± 11.5	73.6 ± 9.7	72.8 ± 8.4
PAI (Mild) (kcal/week)	344.4 ± 370.8	601.0 ± 678.9 b	252.2 ± 275.2
PAI (Hard) (kcal/week)	3460.9 ± 2168.6 c	1962.4 ± 1293.5 d	261.4 ± 399.6
PAI (Total) (kcal/week)	3805.5 ± 2162.7 c	2545.7 ± 920.1 d	516.5 ± 427.4

a : Sedentary group differs from Runner group at p<0.01;

b : Active group differs from Sedentary group at p<0.001 and Runner group at p<0.05;

c : Runner group differs from Active and Sedentary groups at p<0.0001;

d : Active group differs from Runner and Sedentary groups at p<0.001.

意に高値を示した ($P<0.0001$)。また、活動群のPAI (全および高強度) は非活動群より有意に高値を示した ($P<0.001$)。一方、活動群の低強度のPAI ($600 \pm 680\text{kcal/week}$) はランナー群 ($340 \pm 370\text{kcal/week}$, $P<0.05$) および非活動群 ($250 \pm 280\text{kcal/week}$, $P<0.001$) に比べ、有意に高値を示した。一般健常人の行っていた運動を挙げると、40歳代以下は、水泳やジョギング、テニスなどの比較的軽いスポーツを、また、50歳代以上では、主にウォーキングを行っていた。3群間で平均年齢、身長、SBP、DBPに有意差は見られなかったが、非活動群の体重 ($64.2 \pm 6.9\text{kg}$) およびBMI ($22.7 \pm 2.1\text{kg/m}^2$) はランナー群 (体重: $60.6 \pm 7.1\text{kg}$, BMI: $21.4 \pm 2.0\text{kg/m}^2$) より有意に高値を示した ($P<0.01$)。

対象者を一括して年齢とAPWVI間の相関関係を求めると、年齢はAPWVIと有意な正相関関係を示した ($r=0.560$, $P<0.0001$)。また、ランナー群 ($r=0.654$, $P<0.0001$) および一般健常群 ($r=0.627$, $P<0.0001$) のそれぞれにおいても、年齢とAPWVIの間には有意な正の相関関係が認められた。一方、PAIはAPWVIと有意な負の相関関係を示した (全対象者: $r=-0.547$, $P<0.0001$; ランナー群: $r=0.654$, $P<0.0001$; 一般健常者: $r=0.627$, $P<0.01$) (Fig. 8.)。

年齢を補正したAPWVIを3群間で比較すると、ランナー群のAPWVI ($6.27 \pm 0.63\text{m/sec}$) は、活動群 ($6.64 \pm 0.49\text{m/sec}$, $P<0.05$) および非活動群 ($7.22 \pm 0.69\text{m/sec}$, $P<0.0001$) よりも有意に低値を示した。また、活動群のAPWVIは、非活動群よりも有意に低値を示した ($P<0.001$) (Fig. 9.)。

5.4 考察

ランナー群および一般健常群において、APWVIと年齢の間には有意な正の相関関係が認められた。ランナー群、活動群、非活動群のAPWVIを年代別に比較すると、3群ともAPWVIは年齢とともに増大するが、大学生と30~50歳代のランナー群では同年齢の非活動群に比べて有意に低値を示し、60歳代でも統計学的に有意ではないが同年齢の非活動群より低値であった。また、活動群は各年代においてランナー群よりは高値を

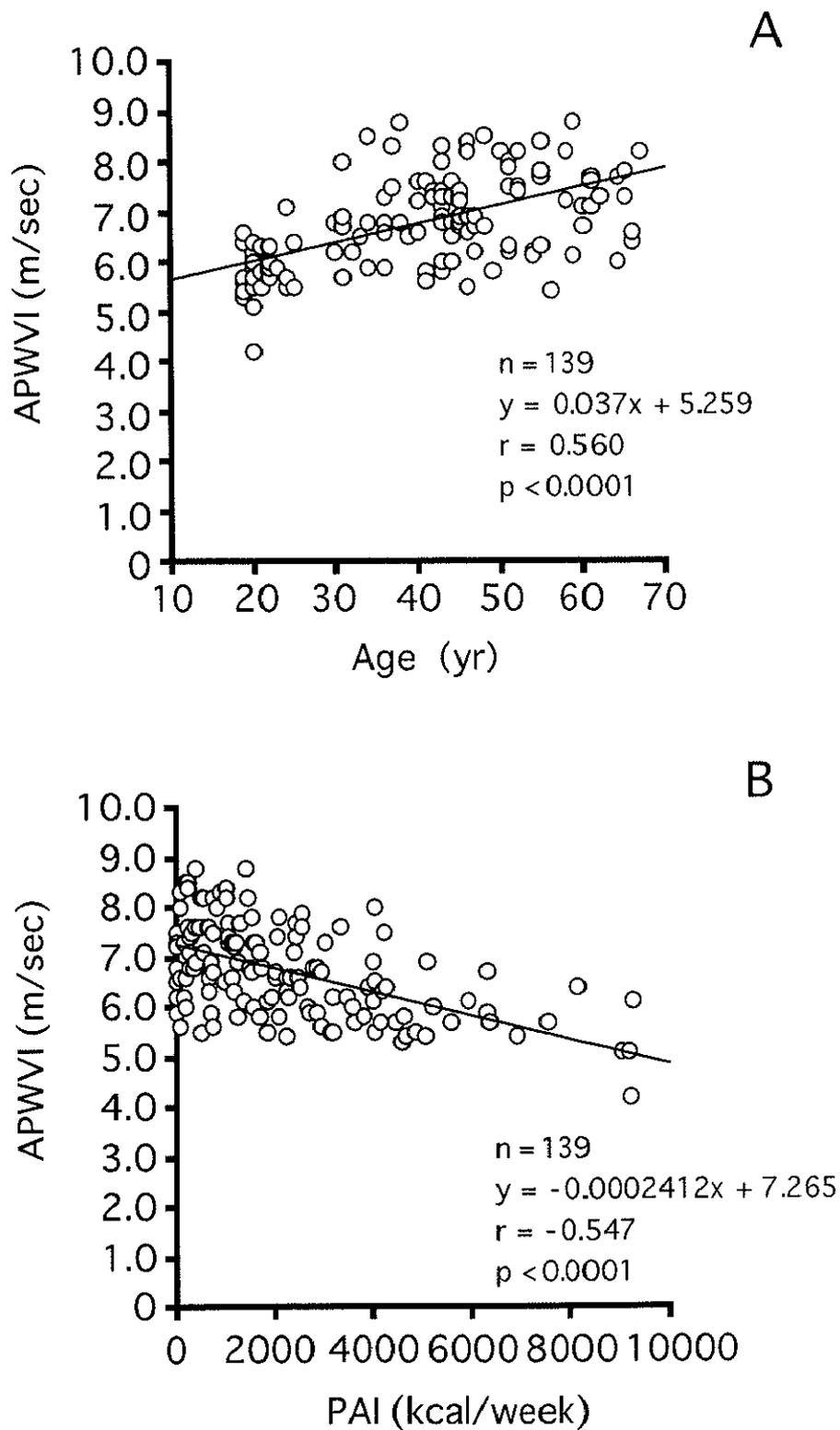


Fig. 8. A. Scatter plot of the APWVI as a function of age.
B. Scatter plot of the APWVI as a function of the total PAI.

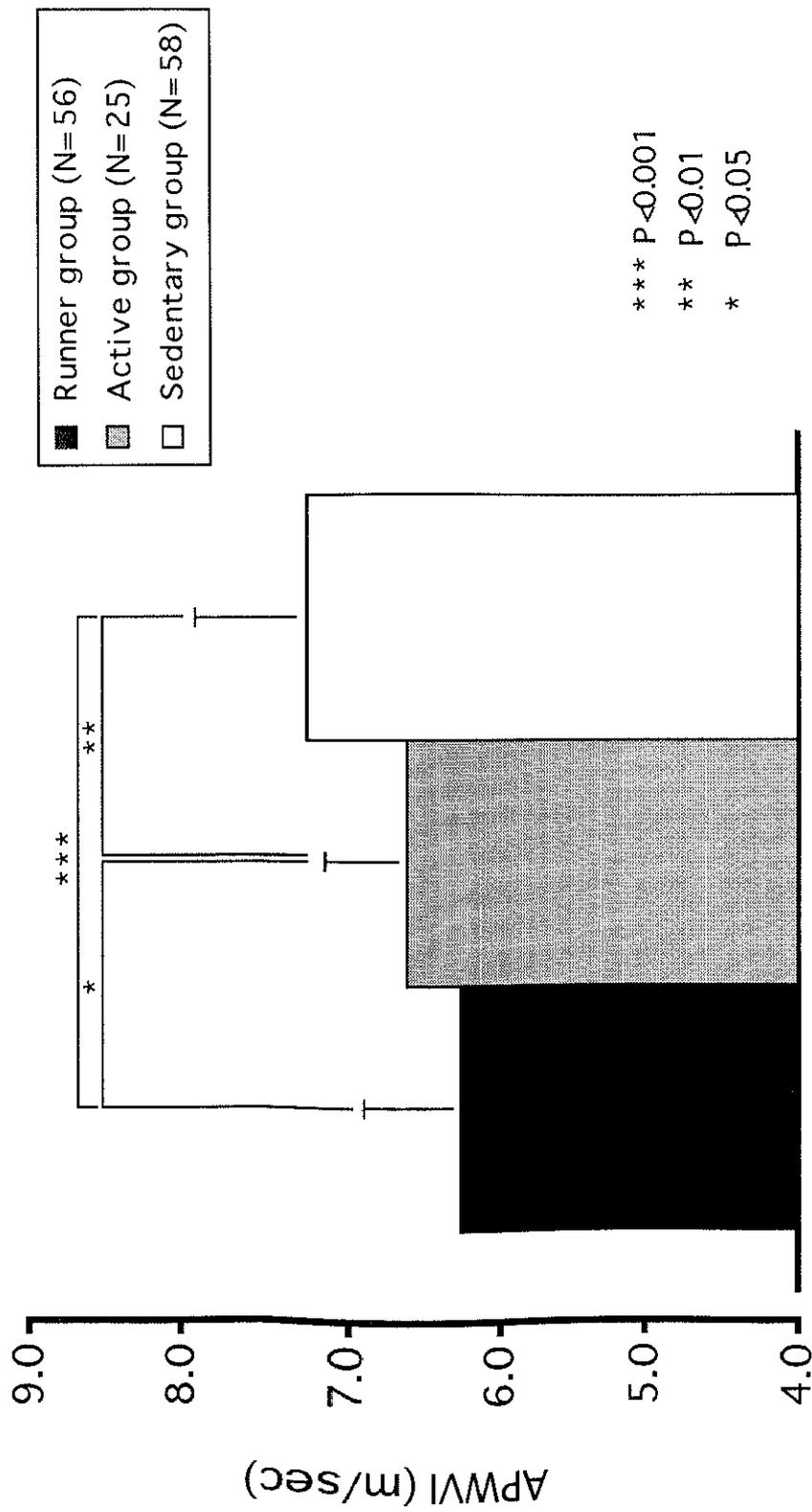


Fig. 9. Bar graph of APWV after adjustment for age compared among runner, active, and sedentary groups by analysis of variance.

示すものの、非活動群よりは低値傾向を示した。対象者を一括しても、あるいはランナー群と一般健常群を分けて検討しても、PAIとAPWVIの間には有意な負の相関関係が認められた。必ずしも高い相関とは言えないが、APWVIには多くの因子が関与していること、あるいは、身体活動量の評価法の精度が必ずしも高くないことなどが影響しているのかも知れない。さらに、年齢補正をしたAPWVIを3群間で比較すると、ランナー群は活動群および非活動群より有意に低値を示し、活動群は非活動群より有意に低値を示した。これらの結果から、健常男性において、大動脈の伸展性は加齢に伴い低下するが、習慣的な運動は、その低下を抑制する効果をもち、その効果は運動量と運動強度のいずれか、あるいはその両方に依存する可能性が示唆され、第4章で得られた運動の効果がさらに明確に示された。

ヒト大動脈脈波速度に及ぼす運動の影響を横断的に検討した先行研究において、高強度のトレーニングを行っているグループの大動脈脈波速度は、非活動的なグループより有意に低値を示したと報告している (Vaitkevicius et al. 1993, 吉村 1976)。また、超音波 (Kool et al. 1992, Zeppilli et al. 1995, Huonker et al. 1996, Miyachi et al. 1998) や心エコー図 (Pellisia et al. 1990) を用いて大動脈の伸展性を測定した研究では、スポーツ選手や非活動的な青年男性が強度の高いトレーニングを行った後の大動脈伸展性が大きいことが報告されている。しかしながら、通常健康運動におけるような中等度の運動が大動脈伸展性に及ぼす効果については、ほとんど検討されていない。本研究では、高強度のトレーニングを行っているランナーのAPWVIは一般健常人より有意に低値を示したが、一般健常人でも軽いスポーツやウォーキング等を行っている活動的な人のAPWVIは、非活動的な人より有意に低値であった。このことは、運動が加齢に伴う大動脈伸展性の低下抑制に及ぼす効果は、運動強度の高い程大きい、中等度の運動でも、十分な効果が得られる可能性を示唆するものである。

一方、本研究とは対照的に、Kupari et al. (1994) は、MRIで評価した胸部大動脈の硬さが、36~37歳の健常者で、身体活動と関連したと報告している。すなわち、活動的な人達の大動脈の伸展性が一般の人々より低かったと結論している。彼らと、これま

での主としてアスリートを対象とした先行研究および本研究の結果が一致しない理由は明らかではない。Kupari et al. (1994) は、他の先行研究結果との不一致について、アスリートが高い動脈の伸展性を持つのは、トレーニングの結果として得られる影響よりむしろ、素質によって得られる影響を排除できないので、被験者による不一致かも知れないと考察している。本研究では、一般健常群においてもPAIはAPWVIと負の相関関係を示した。また、Vaitkevicius et al. (1993) は、定期的な有酸素運動を行っていない非活動的な人々においても、大動脈脈波速度は最大酸素摂取量を指標とする運動能力と逆相関関係にあったと報告している。身体活動は運動能力の重要な決定因子である (Blair 1985) ので、日常の身体活動習慣の違いが、非活動的な人々の間でも、大動脈伸展性の違いに影響しているのかも知れない。

動脈壁の組織所見と大動脈脈波速度を対比した研究では (吉村ら 1976, 荒井ら 1985), 中膜弾性線維の変性やカルシウム沈着に基づくエラスチン量の減少と大動脈脈波速度の増大には密接な関連が示されている。一方、大動脈脈波速度の増大が高度で 9.0m/sec を越える例では、大動脈の内膜に高度の粥状硬化症や石灰化が認められるが、8.0m/sec 以下では出現しても軽度であったとされている (吉村ら 1976, 荒井ら 1985)。本研究では、大動脈脈波速度が 9.0m/sec を越えた例はなく、また、一般健常人には、高血圧、高脂血症、耐糖能異常などの粥状硬化症の主要な危険因子を持つ者、および病的な自覚症を持つ者は含まれていない。したがって、一般健常人が高度の粥状硬化症をもつ可能性は低く、大動脈脈波速度の加齢に伴う増大は、主として大動脈中膜硬化病変の進行によるものと考えられる。

ラットに長期間の各種運動をさせ、動脈の中膜硬化病変に及ぼす影響を検討した研究 (松田ら 1992, 1993) では、運動を負荷したラットの大動脈壁中のエラスチンは変性が少なく、そのことが大動脈の伸展性を大きくすると報告している。すなわち、運動は加齢に伴って進行する動脈壁中膜の線維蛋白の変性やカルシウム沈着に基づく中膜硬化病変を軽減、ないしは予防する効果を持つことが示唆されている。一方、Cameron et al. (1994) は、高強度 (75% of maximum load) の規則的な自転車トレーニング

を運動習慣のない若年者に4週間行わせ、その結果、大動脈の伸展性が増大したことを報告している。このような短期間のトレーニングによって得られた効果は、動脈の中膜構成線維に及ぼす影響のみでは説明が困難である。彼らは、運動トレーニングが血管内皮細胞やアンジオテンシンIIなどの内因性ホルモンを介して血管平滑筋のトーンズに影響を与え、その結果として動脈の伸展性が上昇した可能性を推察している。本研究における結果にも、一部には同様の因子が影響を及ぼしている可能性は否定できない。

5.5 要約

ヒトでも加齢に伴う大動脈伸展性の低下が運動によって抑制できるという仮説、とくに通常の健康運動におけるような中等度の運動でも大動脈伸展性の低下抑制に効果的であるという仮説を検証するために、大学生および社会人の男性を対象として、身体活動指数と大動脈脈波速度指数とを評価し、両者の量反応関係について検討した。対象者は、走行トレーニングを継続しているランナー群と、健康診断および人間ドック受診により健常者と認められた一般健常群である。一般健常群は、身体活動指数により活動群と非活動群とに分類した。対象者を一括して、大動脈脈波速度指数と年齢との関係を調べると、両者間には有意な正の相関関係が認められ、年齢が進むにつれて大動脈脈波速度指数は増大し、加齢とともに大動脈伸展性が低下することが示唆された。大動脈伸展性の加齢変化に及ぼす運動の効果を明らかにするため、年代別にランナー群、活動群、非活動群の3群間で大動脈脈波速度指数を比較すると、3群とも大動脈脈波速度指数は年齢とともに増大した。しかし、その増加速度は非活動群よりも活動群、活動群よりもランナー群で緩やかであった。対象者を一括しても、あるいはランナー群と一般健常群を分けて検討しても、身体活動指数と大動脈脈波速度指数の間には有意な負の相関関係が認められた。また、各年代のランナー群、活動群、非活動群を群ごと一括し、3群間で年齢を補正した大動脈脈波速度指数を比較しても、ランナー群の大動脈脈波速度指数は活動群および非活動群より有意に低値を示し、活動群は非活動群より有意に低値を示した。したがって、ヒトにおいても継続的運動が大動脈伸展性を増大ないし保持する効果

を持つ可能性が示唆された。また、加齢に伴う大動脈伸展性の低下抑制に効果的な運動は、運動強度あるいは運動量が高いほどその効果も大きいですが、中等度の運動でも有意な効果が得られる可能性が示唆された。